

**Verfahren zur Diagnose von Betriebszuständen einer
Synchronpumpe sowie Vorrichtung zur Durchführung
dieses Verfahrens**

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Diagnose von Betriebszuständen einer Synchronpumpe in einem Flüssigkeitskreislauf, insbesondere in einer Spülmaschine oder dergleichen.

10 In Spülmaschinen werden häufig Synchronpumpen, das heißt durch Synchronmotor angetriebene Pumpen, dazu verwendet, das zur Reinigung verwendete Spülwasser vom Boden des Innenraums des Gerätes abzupumpen und wieder zu den Sprüharmen zu fördern, so daß ein geschlossener Flüssigkeitskreislauf geschaffen wird. Dieser Aufbau ist sehr verbreitet, da auf diese Weise Frischwasser gespart werden kann.

15 Im Idealfall bleibt die zirkulierende Wassermenge konstant, und die Synchronpumpe zum Umwälzen des Wassers arbeitet mit konstanter Leistung. Ein Problem tritt jedoch dann auf, wenn sich Wasser im Maschinen-Innenraum an Stellen speichert, von denen es nicht abfließen oder abgepumpt werden kann, so daß es nicht mehr zur Rückführung zu den Sprühdüsen zur Verfügung steht. Solche Flüssigkeits-Reservoirs werden insbesondere durch Töpfe oder ähnliche Behälter gebildet, die während des Spülvorgangs umkippen, so daß ihre Öffnungen nach oben weisen und das von oben auf das zu reinigende Geschirr verteilte Spülwasser gesammelt wird. Ein weiteres Problem besteht in einer Behinderung der Wasserzirkulation durch eine Verschmutzung des Filters, der im Boden des Innenraums des Gerätes am Einlaß der Vorlaufleitung der Synchronpumpe angeordnet ist. Unterschreitet jedoch die zirkulierende Wassermenge ein bestimmtes Mindestvolumen, kann ein störungsfreier Betrieb des Gerätes nicht gewährleistet werden. Abgesehen davon, daß das Geschirr nicht mehr vollständig gereinigt wird, besteht in diesem Fall die Gefahr einer Beschädigung der Synchronpumpe.

35 Es ist daher erwünscht, den augenblicklichen Betriebszustand des Wasserkreislaufs zu bestimmen und insbesondere zu ermitteln, ob die Pumpe ordnungsgemäß fördert. Bekannt sind Meßverfahren zur Messung der vor dem Spülvorgang in den Kreislauf eingeleiteten Wassermenge. Eine Möglichkeit besteht beispielsweise darin, das Wasser über ein Laufrad zu leiten, dessen

REST AVAILABLE COPY

1 Umdrehungszahl proportional zum über das Laufrad geleiteten Wasservolu-
men ist. Diese Anordnung bietet den Vorteil, daß sie preiswert zu realisieren
ist, liefert jedoch relativ ungenaue Meßergebnisse.. Eine ständige Kontrolle
des zirkulierenden Wasservolumens während des Betriebs der Maschine wird
5 hierdurch nicht gewährleistet.

Das Dokument DE 196 30 357.5 A1 offenbart eine Vorrichtung zur Regelung
der Wassermenge in einer Geschirrspülmaschine, bei welcher zur Bestim-
mung des Betriebszustandes der Synchronpumpe das Drehmoment des die
10 Pumpe antreibenden Synchronmotors überwacht wird. Zu diesem Zweck wird
die Stromaufnahme der Ständerwicklung gemessen und in Abhängigkeit da-
von ein Dosierventil für die Zuführung des Spülwassers gesteuert, so daß
eine ständige Kontrolle des zirkulierenden Wasservolumens gewährleistet
wird.

15 Ferner offenbart das Dokument DE 24 15 171.1 A1 eine Messung des Be-
triebszustandes eines Synchronmotors anhand der Phasenverschiebung zwi-
schen der am Motor anliegenden Wechselspannung und dem Wechselstrom.
Eine aktuell auftretende Phasenverschiebung läßt sich dann einem bestimm-
ten Betriebszustand zuordnen. Die bekannte Lösung ist darauf gerichtet, eine
20 Betriebszustand-Überwachung für Synchronmaschinen mit asynchronem An-
lauf zu schaffen und einen asynchronen Lauf anzuzeigen. Es sollen die im
allgemeinen verwendeten aufwendigen Drehzahlmessungen eingespart und
durch eine weniger kostspielige Überwachung ersetzt werden. Für den An-
25 wendungsfall, der der vorliegenden Erfindung zugrundeliegt, ist dieses Ver-
fahren jedoch nur in sehr eingeschränktem Maße geeignet, da sich nicht alle
Betriebszustände einer Geschirrspülmaschine durch dieses vorbekannte Ver-
fahren zweifelsfrei identifizieren lassen. Insbesondere gilt dies für die oben
beschriebenen Störungen im Flüssigkeitskreislauf.

30 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Diagnose
von Betriebszuständen einer Synchronpumpe der eingangs genannten Art zu
schaffen, das es auf möglichst einfache, zuverlässige und kostensparende
Weise ermöglicht, unterschiedliche Betriebszustände der Synchronpumpe zu
35 detektieren und zu identifizieren, die Fehlfunktionen im Flüssigkeitskreislauf
entsprechen, insbesondere einem Absinken des zirkulierenden Wasservolu-
mens unter ein Mindestniveau und einer Filterverschmutzung.

1 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1
gelöst.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden zunächst in einem Meß-
5 Schritt wenigstens in einer Messung die Wechselspannung und der Wechsel-
strom am bzw. durch den Motor gemessen. In einem anschließenden Bestim-
mungs-Schritt wird die Größe einer Phasenverschiebung bestimmt, die zwi-
schen der Wechselspannung und dem Wechselstrom auftritt. Die bestimmte
Phasenverschiebung wird in einem nachfolgenden Zuordnungs-Schritt dazu
10 benutzt, einen Pumpen-Betriebszustand zu identifizieren.

(
Dieses Diagnoseverfahren beruht auf der Erkenntnis, daß die Phasenver-
schiebung zwischen Spannung und Strom der Synchronpumpe als Indikator
für eine Pumpen-Fehlfunktion dienen kann. Wird beispielsweise dem Wasser-
15 kreislauf in der Spülmaschine eine bestimmte Wassermenge entzogen, etwa
durch einen umgekippten Topf, so tritt eine Änderung der Phasenverschie-
bung auf, die darauf zurückzuführen ist, daß im Pumpengehäuse ein Luft-
Wasser-Gemisch vorliegt. In diesem Fall können Gegenmaßnahmen eingelei-
tet werden, die der Fehlfunktion entgegenwirken. Beispielsweise kann das
20 Wasservolumen innerhalb des Kreislaufs durch Frischwasser ergänzt werden.
Ferner kann ein Warnsignal erzeugt werden, das durch eine Bedienungspers-
on wahrzunehmen ist. Sämtliche Verfahrensschritte sind relativ einfach und
preiswert zu realisieren, und die Phasenverschiebungs-Messung kann gegen-
(
über den herkömmlichen Verfahren vergleichsweise genau durchgeführt wer-
25 den. Durch die ständige Wasserstandskontrolle kann die Frischwasserzufüh-
rung genau am Bedarf orientiert werden, so daß ein ressourcensparender
Wasserkreislauf realisiert werden kann. Außerdem wird hierdurch ein Ener-
giespareffekt erreicht, da nur das im Kreislauf befindliche Wasser für die ein-
zelnen Spülgänge aufgeheizt werden muß.

30

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens
wird die Größe der Phasenverschiebung im Zuordnungs-Schritt einem vorbe-
stimmten Phasenverschiebungs-Wertebereich zugeordnet, der mit einem be-
stimmten Pumpen-Betriebszustand verknüpft ist.

35

Ferner kann vorzugsweise im Bestimmungs-Schritt die Differenz zwischen der
gemessenen Größe der Phasenverschiebung und einer gespeicherten vorgege-

1 benen Phasenverschiebung bestimmt werden, und im nachfolgenden Zuord-
nungs-Schritt wird diese Phasenverschiebungs-Differenz einem Pumpen-Betriebszustand zugeordnet. In diesem Fall wird also nicht die gemessene Größe der Phasenverschiebung, sondern deren Abweichung von einem vorbestimmten Soll-Wert zur Identifikation des Zustands der Pumpe herangezogen.
5

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird im Bestimmungsschritt die Größe der Phasenverschiebung zu verschiedenen Zeitpunkten gemessen, so daß aus den aufgenommenen Meßwerten der zeitliche Verlauf der Phasenverschiebung ermittelt werden kann. Es wird ein Merkmal des zeitlichen Verlaufs der Phasenverschiebung bestimmt, das im Zuordnungsschritt einem vorbestimmten Pumpen-Betriebszustand zugeordnet wird.
10

Bevorzugt wird hierbei das bestimmte Merkmal einem vorbestimmten Merkmals-Wertebereich zugeordnet, der mit einem Pumpen-Betriebszustand verknüpft ist.
15

Vorzugsweise wird im Bestimmungsschritt die Größe der Steigung des zeitlichen Verlaufs der Phasenverschiebung bestimmt und im Zuordnungsschritt einem vorbestimmten Steigungs-Wertebereich zugeordnet, der mit einem Pumpen-Betriebszustand verknüpft ist. Hier wird also die Größe der Steigung des zeitlichen Verlaufs der Phasenverschiebung zur Erkennung des Pumpen-Betriebszustands, z.B einer Filterverschmutzung genutzt.
20

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfaßt der Bestimmungsschritt einen Transformations-Schritt, in welchem der zeitliche Verlauf der Phasenverschiebung einer Fourier-Transformation unterzogen wird und die Amplitude der Fourier-Transformierten in einem vorbestimmten Frequenzbereich bestimmt wird. Der Zuordnungsschritt dient in diesem Fall dazu, die zuvor bestimmte Amplitude einem vorbestimmten Amplituden-Wertebereich zuzuordnen, der wiederum mit einem Pumpen-Betriebszustand verknüpft ist.
25
30

Die Analyse findet in diesem Fall also im Frequenzbereich statt. Weist der zeitliche Verlauf der Phasenverschiebung beispielsweise hochfrequente Signalanteile auf, so kann dies darauf hindeuten, daß im Pumpengehäuse ein Luft-Wasser-Gemisch vorliegt und die Pumpe nicht mit voller Leistung arbeiten kann.
35

1 Vorzugsweise kann es sich bei der Fourier-Transformation um eine diskrete
Fourier-Transformation (DFT) oder um die spezielle Form der DFT, die so-
genannte Fast-Fourier-Transformation (FFT) handeln.

5 Die Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Phasenverschiebung im Bestim-
mungs-Schritt kann vorzugsweise eine gleitende Mittelung beinhalten.

Der Meß-Schritt kann vorzugsweise eine Umwandlung des gemessenen Wech-
selspannungs-Signals und des gemessenen Wechselstrom-Signals in Recht-
ecksignale beinhalten.

10 Eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens
umfaßt einen Microcontroller mit einem Timer, der einen Spannungs-Eingang
zur Aufnahme eines Start-Signals und einen Strom-Eingang zur Aufnahme ei-
nes Stopp-Signals umfaßt. Diese Spannungs- bzw. Stromeingänge sind dazu
15 ausgebildet, das Überschreiten eines vorbestimmten Spannungs- bzw. Strom-
signal-Pegels als Start- bzw. Stop-Signal zu interpretieren. Der Inhalt des Ti-
mers ist zum zeitlichen Abstand zwischen dem Start- und dem Stop-Signal
proportional. Der Microcontroller umfaßt ferner einen Speicher zur Aufnahme
20 des Timer-Inhalts.

Durch den Timer des vorstehend beschriebenen Microcontrollers läßt sich die
Größe der Phasenverschiebung messen. Der durch weitere Analyseeinrichtun-
gen abzurufende Inhalt des Speichers ist proportional zur Phasenverschie-
25 bung, so daß durch die erfindungsgemäße Vorrichtung eine einfache Möglich-
keit zur Betriebszustandsanalyse geboten wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform umfaßt der Speicher eine Anzahl von
Speicherplätzen zur Speicherung einer Abfolge von Speicherinhalten.

30 Weiter vorzugsweise umfaßt der Microcontroller eine Auswertungseinheit zur
Mittelung der Speicherinhalte.

Vorzugsweise dient eine Schnittstelle zur Übermittlung betriebszustandsbezo-
35 gener Daten vom Microcontroller an eine Steuereinheit zur Steuerung des
Flüssigkeitskreislaufs.

1 Die Erfindung ist auch auf Waschmaschinen geeigneter Bauart oder andere
im Umwälzbetrieb laufende Maschinen anwendbar.

Im folgenden wird ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung an-
5 hand der Zeichnung näher erläutert.

Fig. 1 zeigt schematisch die zu messenden Spannungs- und Strom-
Signale sowie deren Umformung;

10 Fig. 2 ist eine schematische Darstellung des Verlaufs der Phasen-
verschiebung;

Fig. 3 ist ein Diagramm, das die Funktionseinheiten einer Vorrich-
tung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens
15 darstellt;

Fig. 4 bis 7 zeigen den zeitlichen Verlauf der Phasenverschiebung
entsprechend verschiedenen Pumpen-Betriebszuständen; und

20 Fig. 8 ist ein Flußdiagramm, das die erfindungsgemäßen Verfah-
rensschritte erläutert.

Fig. 1 zeigt vier Diagramme, in denen jeweils der Verlauf eines Spannungs-
und eines Strom-Signals gegen die Zeit t aufgetragen ist. Das linke obere Dia-
25 gramm zeigt den sinusförmigen Verlauf der Spannung U , die an einer Syn-
chronpumpe eines Flüssigkeitskreislaufts anliegt, während das linke untere
Diagramm den ebenfalls sinusförmigen Verlauf des Stroms I zeigt. Die beiden
Sinuskurven des Spannungs-Signals U und des Stromsignals I sind um eine
Phasenverschiebung $\Delta\phi$ gegeneinander verschoben, d.h. $\Delta\phi$ entspricht einer
30 zeitlichen Verschiebung des Nulldurchgangs des Stromsignals I gegenüber
dem Spannungs-Signal U . Die Größe dieser Phasenverschiebung $\Delta\phi$ kann er-
findungsgemäß zur Diagnose eines Pumpen-Betriebszustands verwendet wer-
den, wie nachfolgend noch erläutert werden soll. Zu diesem Zweck werden
Spannung U und Strom I am Motor in einem Meß-Schritt gemessen, und
35 nachfolgend wird in einem Bestimmungs-Schritt die Größe der Phasenver-
schiebung $\Delta\phi$ bestimmt.

1 Vor der weiteren Auswertung werden die gemessenen Spannungs- und Strom-
signale U, I zunächst bearbeitet, und zwar durch Umwandlung in Rechtecksig-
nale U' bzw. I' . Diese Signale sind in der rechten Hälfte von Fig. 1 in einem
oberen und unteren Diagramm dargestellt. Im einzelnen geschieht die Um-
5 wandlung des Spannungs-Signals U in das Rechtecksignal U' durch einen
Optokoppler, der das analoge Sinus-Spannungs-Signal U in ein digitales
Rechtecksignal wandelt. Gleichzeitig wird hierdurch eine Potentialtrennung
zwischen der Motorspannung und einem nachgeschalteten Microcontroller
hergestellt, der zur Auswertung dient. Zur Umwandlung des Sinus-Stromsig-
10 nals I in das Rechtecksignal I' wird der Motorstrom über einen Shunt als
Meßwiderstand geleitet, und die Meßspannung wird durch einen Operations-
verstärker in ein Rechtecksignal gewandelt. Die Potentialtrennung wird auch
in diesem Fall durch einen nachgeschalteten Optokoppler gewährleistet.

15 In Fig. 2 sind diese bearbeiteten Signale U', I' gemeinsam dargestellt. Die
Abszisse entspricht auch in diesem Fall der Zeit t , während die Ordinate der
Amplitude der Signale entspricht. Im Normalbetrieb der Pumpe, in dem diese
vollständig mit Wasser gefüllt ist, tritt eine bestimmte Phasenverschiebung
 $\Delta\phi_1$ auf. Wird dem Wasserkreislauf in einer Spülmaschine Wasser entzogen,
20 so daß das durch die Synchronpumpe geförderte Wasservolumen abnimmt,
wächst die Phasenverschiebung $\Delta\phi_2$ zwischen Spannungs- und Stromsignal
 U', I' deutlich an, sobald ein bestimmter Wasserstand unterschritten wird.
Diese Vergrößerung der Phasenverschiebung kann in einem Bestimmungs-
Schritt, der dem zuvor beschriebenen Meß-Schritt nachfolgt, bestimmt und
25 dazu verwendet werden, den Betriebszustand der Pumpe zu ermitteln. Zu die-
sem Zweck kann die gemessene Größe der Phasenverschiebung in einem
nachfolgenden Zuordnungs-Schritt einem Wertebereich zugeordnet werden,
der wiederum einem vorbestimmten Betriebszustand entspricht. Wahlweise
kann zunächst die Differenz zwischen der gemessenen Größe und einem vor-
30 bestimmten Wert der Phasenverschiebung bestimmt werden, entsprechend
beispielsweise einer aktuell gemessenen Größe $\Delta\phi_2$ der Phasenverschiebung
gemäß Fig. 2 und einem Wert $\Delta\phi_1$ im störungsfreien Normalbetrieb, und diese
Phasenverschiebungs-Differenz wird einem zu diagnostizierenden Betriebszu-
stand zugeordnet.

35

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens, die im folgenden nä-
her betrachtet werden soll, wird durch Messung an verschiedenen Zeitpunk-

1 ten der zeitliche Verlauf der Phasenverschiebung $\Delta\phi$ ermittelt. Dies bietet umfangreiche Möglichkeiten, den Verlauf der Phasenverschiebung zu analysieren und auf charakteristische Merkmale hin zu untersuchen. Ein bestimmtes Merkmal, also z.B. die Größe eines bestimmten Parameters des zeitlichen
5 Verlaufs der Phasenverschiebung $\Delta\phi$ läßt sich in einem Zuordnungs-Schritt, der dem Bestimmungs-Schritt folgt, einem vorbestimmten Pumpen-Betriebszustand zuordnen. Diese Zuordnung kann auch beinhalten, daß das Merkmal einem vorbestimmten Merkmals-Wertebereich zugeordnet, d.h. klassifiziert wird, der mit einem Pumpen-Betriebszustand verknüpft ist.

10 Das Blockdiagramm in Fig. 3 zeigt funktionelle Bestandteile einer Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens. Ein Microcontroller 10 umfaßt einen Timer 12 mit einem Spannungs-Eingang 14 und einem Strom-Eingang 16. Der Spannungs-Eingang 14 dient zur Aufnahme des Rechteck-Spannungs-Signals
15 U' , während der Strom-Eingang 16 zur Aufnahme des Strom-Rechtecksignals I' dient. Die Rechtecksignale sind zu diesem Zweck an den Pegel des Microcontrollers 10 angepaßt. Die steigende Flanke des Spannungs-Signals U' dient als Start-Signal für den Timer 12, während die steigende Flanke des Strom-Signals I' als Stop-Signal dient. Der Inhalt des Timers 12, der in einem
20 Speicher 18 des Microcontrollers 10 gespeichert wird, ist proportional zum zeitlichen Abstand zwischen Start-Signal und Stop-Signal und damit proportional zur Phasenverschiebung $\Delta\phi$ zwischen diesen Signalen.

25 Der Speicher 18 kann eine Anzahl von Speicherplätzen umfassen, die zur Speicherung einer Abfolge von Speicherinhalten dienen. Auf diese Weise läßt sich ein zeitlicher Verlauf der Phasenverschiebung $\Delta\phi$ über die Zeit t hinweg bestimmen. Es ist also möglich, innerhalb eines bestimmten Zeitfensters Δt eine Anzahl von Phasenverschiebungs-Messungen durchzuführen, wobei jede Messung einem Speicherinhalt an einer Speicherstelle des Speichers 18 entspricht. Anschließend werden diese Meßwerte mit Hilfe eines Software-Moduls 20 des Microcontrollers 10 einer gleitenden Mittelung unterzogen. Das
30 Resultat ist ein geglätteter zeitlicher Verlauf der Phasenverschiebung $\Delta\phi$, der auf bestimmte Merkmale bzw. Parameter hin untersucht werden kann. Die gleitende Mittelung bietet den Vorteil, daß die Auswirkungen von Meßfehlern gedämpft werden. Außerdem kann auf diese Weise die Analyse der charakteristischen Merkmale des Phasenverschiebungsverlaufs nach jedem neuen Meßvorgang durchgeführt werden.
35

1 Die Vorrichtung kann ferner eine Schnittstelle zur Übermittlung betriebszu-
standsbezogener Daten an eine Steuer- oder Regeleinheit des Wasserkreis-
laufs umfassen, wie beispielsweise eine Hardware-Schnittstelle des Microcon-
trollers 10 zur Kommunikation mit einem externen Steuermodul. Dient der
5 Microcontroller 10 selbst zur Regelung des Wasserkreislaufs, so wird die
Kommunikation intern durch eine Software-Schnittstelle zum Datenaus-
tausch zwischen den jeweils zuständigen Software-Modulen realisiert.

Zeitliche Verläufe der Phasenverschiebung $\Delta\phi$ über die Zeit t entsprechend
10 verschiedenen Betriebszuständen der Synchronpumpe sind in den Fig. 4 bis
7 dargestellt. Die gezeigten Kurven werden aus einer großen Anzahl von
Meßwerten gewonnen, die Speicherstellen des Speichers 18 entsprechen und
durch das Softwaremodul 20 in der oben beschriebenen Weise bearbeitet wor-
den sind. Fig. 4 zeigt die Anlaufphase der Synchronpumpe. In einem ersten
15 Zeitbereich t_1 kommt es zu einem kurzzeitigen Anstieg der Phasenverschie-
bung. Der zeitliche Verlauf in diesem Bereich t_1 zeigt ferner hochfrequente
Signalanteile. In dem darauf folgenden Zeitbereich t_2 stellt sich eine relativ
kleine, konstante Phasenverschiebung ohne hochfrequente Signalanteile ein.
Dies entspricht einem ordnungsgemäßen Betrieb der Pumpe bei einem ausrei-
chenden Wasservolumen im Kreislauf, entsprechend beispielsweise einem
20 ausreichend hohen Wasserstand in einer Spülmaschine.

Hingegen zeigt Fig. 5 den zeitlichen Verlauf der Phasenverschiebung $\Delta\phi$ beim
Abpumpen des Wassers, wobei Luft in das Pumpengehäuse gelangt. Ein erster
25 Zeitbereich der Kurve t_2 entspricht dem bereits in Fig. 4 dargestellten ord-
nungsgemäßen Betrieb der Pumpe bei ausreichend hohem Wasserstand. Die
Phasenverschiebung $\Delta\phi$ ist in diesem Zeitbereich t_2 relativ klein. Gelangt je-
doch zusätzlich Luft in das Pumpengehäuse, so daß ein Luft-Wasser-Gemisch
vorliegt, steigt die Phasenverschiebung $\Delta\phi$ in diesem Zeitbereich t_3 sehr
30 schnell an und es stellen sich hochfrequente Signalanteile ein. Dieser Verlauf
im Zeitbereich t_3 zeigt sich auch dann, wenn dem Wasserkreislauf eine klei-
nere Menge Wasser (z.B. durch einen umgekippten Topf) entzogen wird.

Entleert sich das Pumpengehäuse im Zeitbereich t_4 allmählich, so steigt die
35 Phasenverschiebung von dem in t_3 gehaltenen annähernd konstanten Wert
allmählich an, bis schließlich im Zeitbereich t_5 ein konstanter hoher Phasen-
verschiebungs-Wert erreicht wird, der einer vollständigen Entleerung des

1 Pumpengehäuses entspricht. Dieser Fall tritt ein, wenn dem Kreislauf das Wasser vollständig entzogen worden ist.

Wie Fig. 5 zu entnehmen ist, entsprechen verschiedene Betriebszustände der
5 Pumpe verschiedenen zeitlichen Verläufen der Phasenverschiebung $\Delta\phi$. Dies bietet die Möglichkeit, aus der Untersuchung der Phasenverschiebung auf den jeweiligen Betriebszustand zu schließen. Insbesondere ist es möglich, bestimmte Parameter des zeitlichen Verlaufs der Phasenverschiebung $\Delta\phi$ und deren Größe an bestimmten Punkten zu untersuchen, wie etwa die Steigung
10 der ermittelten Kurve. Betrachtet man beispielsweise den Zeitbereich t_4 in Fig. 5, so zeigt sich hier ein näherungsweise linearer Anstieg der Phasenverschiebung $\Delta\phi$ mit der Zeit t . Bestimmt man die Steigung S_1 an einem bestimmten Zeitpunkt, so läßt sich diese Steigung S_1 einem bestimmten Betriebszustand der Pumpe zuordnen, wie etwa im vorliegenden Fall einer all-
15 mählichen Entleerung des Pumpengehäuses. Im Zuordnungs-Schritt wird dann die Größe der Steigung S_1 einem vorbestimmten Steigungs-Wertebereich zugeordnet, d.h. klassifiziert, der mit einem Pumpen-Betriebszustand verknüpft ist.

20 Eine weitere Möglichkeit besteht darin, auf die Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Phasenverschiebung einen Transformations-Schritt folgen zu lassen, in dem der zeitliche Verlauf der Phasenverschiebung einer Fourier-Transformation unterzogen wird. Dies dient dazu, die im Signalverlauf enthaltenen Frequenzen zu untersuchen, da diese Aufschluß auf ein bestimmtes
25 Betriebsverhalten geben. Beispielsweise sind im Zeitbereich t_3 bei einem Vorliegen eines Luft-Wasser-Gemischs im Pumpengehäuse hochfrequente Signalanteile enthalten, die im Normalbetrieb nicht auftreten, so daß das Auftreten solcher Frequenzanteile ein klares Indiz für eine Fehlfunktion des Systems ist. Es wird daher die Amplitude der Fourier-Transformierten in einem vorbestimmten Frequenzbereich bestimmt, und in dem Zuordnungsschritt wird die
30 bestimmte Amplitude einem vorbestimmten Amplituden-Wertebereich zugeordnet, der mit einem Pumpen-Betriebszustand verknüpft ist. Beispielsweise werden im vorliegenden Fall die hohen Frequenzanteile beim Vorliegen eines Luft-Wasser-Gemischs im Pumpengehäuse in einen vorbestimmten Amplituden-Wertebereich fallen, so daß eine eindeutige Klassifizierung der zuvor be-
35 stimmten Amplitude der Fourier-Transformierten möglich ist. Bei der Fourier-Transformation kann es sich um eine diskrete Fourier-Transformati-

1 on (DFT) oder um die spezielle Form der DFT, die sogenannte Fast-Fourier-Transformation (FFT) handeln, die vom Softwaremodul 20 des Microcontrollers 10 rechnerisch durchgeführt werden kann.

5 Im folgenden sollen weitere charakteristische Signalverläufe beschrieben werden.

Fig. 6 zeigt den zeitlichen Verlauf der Phasenverschiebung $\Delta\phi$ im Fall von Filterverschmutzungen, die einen ausreichenden Zustrom im Pumpen-Vorlauf behindern. Ausgehend vom normalen Pumpenbetrieb im Zeitbereich t_2 kommt es hier zu einer kontinuierlichen Filterverschmutzung, die zu einem allmählichen Anstieg der Phasenverschiebung $\Delta\phi$ führt, bis der Filter vollständig verstopft ist (Zeitbereich t_7) und die Phasenverschiebung einen sehr hohen, konstanten Wert erreicht. Die Steigung S_2 im Zeitbereich t_6 bietet somit einen Anhaltspunkt für das Vorliegen einer kontinuierlichen Filterverschmutzung. Zur Diagnose dieses Betriebszustands wird also in der zuvor beschriebenen Weise im Bestimmungsschritt die Größe der Steigung S_2 des ermittelten zeitlichen Verlaufs der Phasenverschiebung $\Delta\phi$ bestimmt, und im Zuordnungsschritt wird die bestimmte Größe der Steigung S_2 einem vorbestimmten Steigungs-Wertebereich zugeordnet, der im vorliegenden Fall dem Betriebszustand einer kontinuierlichen Filterverschmutzung entspricht.

Die vollständige Verschmutzung des Filters (Zeitbereich t_7) kann auch schlagartig auftreten, wenn ein Fremdkörper in den Filter gelangt. Dieser Fall ist in den Zeitbereichen t_8 und t_9 dargestellt. Während zur Zeit t_8 ein normaler, ordnungsgemäßer Pumpenbetrieb mit kleiner Phasenverschiebung $\Delta\phi$ vorliegt, steigt in dem Fall, in dem der Fremdkörper in den Filter gelangt, die Phasenverschiebung schlagartig an, so daß eine sehr hohe konstante Phasenverschiebung im Zeitbereich t_9 erreicht wird. Beide Betriebszustände lassen sich mit Hilfe eines der oben beschriebenen Diagnose-Verfahren feststellen.

Schließlich ist in Fig. 7 ein Fall dargestellt, in dem sich der Synchronmotor der Pumpe in einem seiner beiden Totpunkte befindet und nicht anläuft. Auch dieser Betriebszustand ist diagnostizierbar, da das Phasenverschiebungssignal in diesem Fall einen sehr hohen konstanten Wert erreicht, ohne daß hochfrequente Signalanteile vorhanden sind. Beispielsweise bietet hier das Fehlen hochfrequenter Signalanteile eine Möglichkeit zur Diagnose, in

1 dem die oben beschriebene Fourier-Transformation durchgeführt wird und der Verlauf der Amplitude der Fourier-Transformierten untersucht wird.

Das Flußdiagramm in Fig. 8 zeigt zusammenfassend einzelne Schritte des
5 Verfahrensablaufs. In dem Meß-Schritt 30 werden zunächst die am Motor anliegende Wechselspannung U und der Motor-Wechselstrom I gemessen und in Rechteck-Signale U', I' umgewandelt. Im anschließenden Bestimmungsschritt 32 wird die Größe der Phasenverschiebung $\Delta\phi$ zwischen der Wechselspannung U' und dem Wechselstrom I' bestimmt, und es wird eine Ermittlung des zeitlichen
10 Verlaufs sowie eine gleitende Mittelung durchgeführt. Außerdem kann in diesem Bestimmungsschritt 32 ein Parameter der ermittelten Kurve untersucht werden, also z.B. die Größe der Steigung. Der nachfolgende Zuordnungs-Schritt 34 dient dann dazu, das bestimmte Merkmal, also z.B. die Steigung der Kurve zu klassifizieren, d.h. einem vorbestimmten Wertebereich
15 zuzuordnen, der mit einem Pumpen-Betriebszustand verknüpft ist, der einer Fehlfunktion der Synchronpumpe entsprechen kann. Wahlweise ist es möglich, daß der Bestimmungsschritt 32 den oben erwähnten Transformations-Schritt zur Frequenzanalyse mittels Fouriertransformation umfaßt und im Zuordnungs-Schritt 34 die Amplitude der Fouriertransformierten klassifiziert
20 wird. Vier solcher zuzuordnender Betriebszustände 36, 38, 40, 42 sind auf der rechten Seite in Fig. 8 dargestellt, nämlich das erfolgreiche Anlaufen der Synchronpumpe, das Ansaugen von Luft bei einem Wasserniedrigstand, das Nicht-Fördern der Pumpe bei einer Filterverstopfung und das Nicht-Anlaufen der Pumpe.

25 Das erfindungsgemäße Diagnoseverfahren sowie die entsprechende Vorrichtung eignen sich insbesondere zum Einsatz in Spülmaschinen, sind jedoch nicht hierauf beschränkt. Die Erfindung ist ohne weiteres auch im Zusammenhang mit Flüssigkeitskreisläufen anderer Art verwendbar, bei deren Betrieb bestimmte Betriebszustände der Synchronpumpe festgestellt und Fehlfunktionen diagnostiziert werden sollen.

Bereits die Ermittlung der Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom in einem einzelnen Meßpunkt liefert Auskünfte über den Betriebszu-
35 stand des Motors im Hinblick auf einen bestimmten Parameter, beispielsweise das Lastmoment. Weitere Ermittlungen werden ermöglicht, wenn der zeitliche Verlauf der Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom durch meh-

1 rere, zeitlich aufeinander folgende Messungen festgestellt wird. Die Erfindung
schließt beide Varianten des Meßverfahrens ein. Es ist jedoch auch möglich,
das Verfahren so durchzuführen, daß nur eine der beiden Meßmethoden ein-
5 gesetzt wird. Beide Verfahrensvarianten haben daher auch selbständige Be-
deutung.

10

15

20

25

30

35

Patentansprüche

1. Verfahren zur Diagnose von Betriebszuständen (36,38,40,42) einer Synchronpumpe in einem Flüssigkeitskreislauf, insbesondere in einer Spülmaschine oder dergleichen, dadurch **gekennzeichnet**, daß in wenigstens einem Meß-Schritt (30) die am Pumpenmotor anliegende Wechselspannung (U) und der Motor-Wechselstrom (I) gemessen werden, daß in einem Bestimmungsschritt (32) zu wenigstens einem Zeitpunkt die Größe einer Phasenverschiebung ($\Delta\phi$) zwischen der Wechselspannung (U) und dem Wechselstrom (I) gemessen wird, aus den aufgenommenen Meßwerten die Phasenverschiebung ($\Delta\phi$) oder deren zeitlicher Verlauf ermittelt wird und ein Merkmal der Phasenverschiebung ($\Delta\phi$) oder deren zeitlicher Verlauf bestimmt wird, und daß in einem Zuordnungs-Schritt (34) das bestimmte Merkmal einem vorbestimmten Pumpen-Betriebszustand (36,38,40,42) zugeordnet wird.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Größe der Phasenverschiebung ($\Delta\phi$) im Zuordnungs-Schritt (34) einem vorbestimmten Phasenverschiebungs-Wertebereich zugeordnet wird, der mit einem Pumpen-Betriebszustand (36,38,40,42), insbesondere dem Zustand "Wasserniedrigstand" verknüpft ist.

3. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß im Bestimmungsschritt (32) die Differenz zwischen der gemessenen Größe der Phasenverschiebung ($\Delta\phi_2$) und einer gespeicherten vorgegebenen Phasenverschiebung ($\Delta\phi_1$) bestimmt wird, und daß im Zuordnungs-Schritt (34) die so bestimmte Phasenverschiebungs-Differenz einem vorbestimmten Pumpen-Betriebszustand (36,38,40,42) zugeordnet wird.

4. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß im Bestimmungsschritt (32) die Größe der Phasenverschiebung ($\Delta\phi$) zwischen der Wechselspannung (U) und dem Wechselstrom (I) zu verschiedenen Zeitpunkten bestimmt wird, aus den aufgenommenen Meßwerten der zeitliche Verlauf der Phasenverschiebung ($\Delta\phi$) ermittelt wird und ein Merkmal des zeitlichen Verlaufs der Phasenverschiebung ($\Delta\phi$) bestimmt wird, und daß im Zuordnungs-Schritt (34) das bestimmte Merkmal einem vorbestimmten Pumpen-Betriebszustand (36,38,40,42) zugeordnet wird.

- 1 5. Verfahren gemäß Anspruch 4, dadurch **gekennzeichnet**, daß im Zuordnungs-Schritt (34) das bestimmte Merkmal einem vorbestimmten Merkmals-Wertebereich zugeordnet wird, der mit einem Pumpen-Betriebszustand (36,38,40,42) verknüpft ist.
- 5 6. Verfahren gemäß Anspruch 5, dadurch **gekennzeichnet**, daß im Bestimmungsschritt (32) die Größe der Steigung (S1,S2) des zeitlichen Verlaufs der Phasenverschiebung ($\Delta\phi$) bestimmt wird, und daß in dem Zuordnungsschritt (34) die bestimmte Größe der Steigung (S1,S2) einem vorbestimmten
- 10 Steigungs-Wertebereich zugeordnet wird, der mit einem Pumpen-Betriebszustand (36,38,40,42) verknüpft ist.
- (7. Verfahren gemäß Anspruch 4, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Bestimmungsschritt (32) einen Transformations-Schritt umfaßt, in welchem
- 15 der zeitliche Verlauf der Phasenverschiebung einer Fouriertransformation unterzogen wird und die Amplitude des Fouriertransformierten in einem vorbestimmten Frequenzbereich bestimmt wird, und daß in dem nachfolgenden Zuordnungsschritt (34) die bestimmte Amplitude einem vorbestimmten Amplituden-Wertebereich zugeordnet wird, der mit einem Pumpen-Betriebszustand
- 20 (36,38,40,42) verknüpft ist.
8. Verfahren gemäß Anspruch 7, dadurch **gekennzeichnet**, daß es sich bei der Fouriertransformation um eine diskrete Fouriertransformation (DFT) oder um eine Fast Fourier Transformation (FFT) handelt.
- (25 9. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Phasenverschiebung im Bestimmungsschritt (32) eine gleitende Mittelung beinhaltet.
- 30 10. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Meß-Schritt (30) eine Umwandlung des gemessenen Wechselspannungs-Signals (U) und des gemessenen Wechselstrom-Signals (I) in Rechtecksignale (U',I') beinhaltet.
- 35 11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet** durch einen Microcontroller (10) mit einem Timer (12), der einen Spannungs-Eingang (14) zur Aufnahme eines

1 Start-Signals und einen Strom-Eingang (16) zur Aufnahme eines Stop-Signals
umfaßt, welche Spannungs- bzw. Strom-Eingänge (14,16) dazu ausgebildet
sind, das Überschreiten eines vorbestimmten Spannungs- bzw. Stromsignal-
pegels als Start- bzw. Stop-Signal zu interpretieren, wobei der Timer-Inhalt
5 zum zeitlichen Abstand zwischen Start-Signal und Stop-Signal proportional
ist, und welcher Microcontroller (10) einen Speicher (18) zur Speicherung des
Timer-Inhalts umfaßt.

12. Vorrichtung gemäß Anspruch 11, dadurch **gekennzeichnet**, daß der
10 Speicher (18) eine Anzahl von Speicherplätzen zur Speicherung einer Abfolge
von Speicherinhalten umfaßt.

13. Vorrichtung gemäß Anspruch 12, dadurch **gekennzeichnet**, daß der Mi-
crocontroller (10) eine Auswertungseinheit (20) zur Mittelung der Speicherin-
15 halte umfaßt.

14. Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 11 bis 13, **ge-
kennzeichnet** durch eine Schnittstelle zur Übermittlung betriebszustandsbe-
zogener Daten an eine Steuereinheit zur Steuerung des Flüssigkeitskreis-
20 laufs.

25

30

35

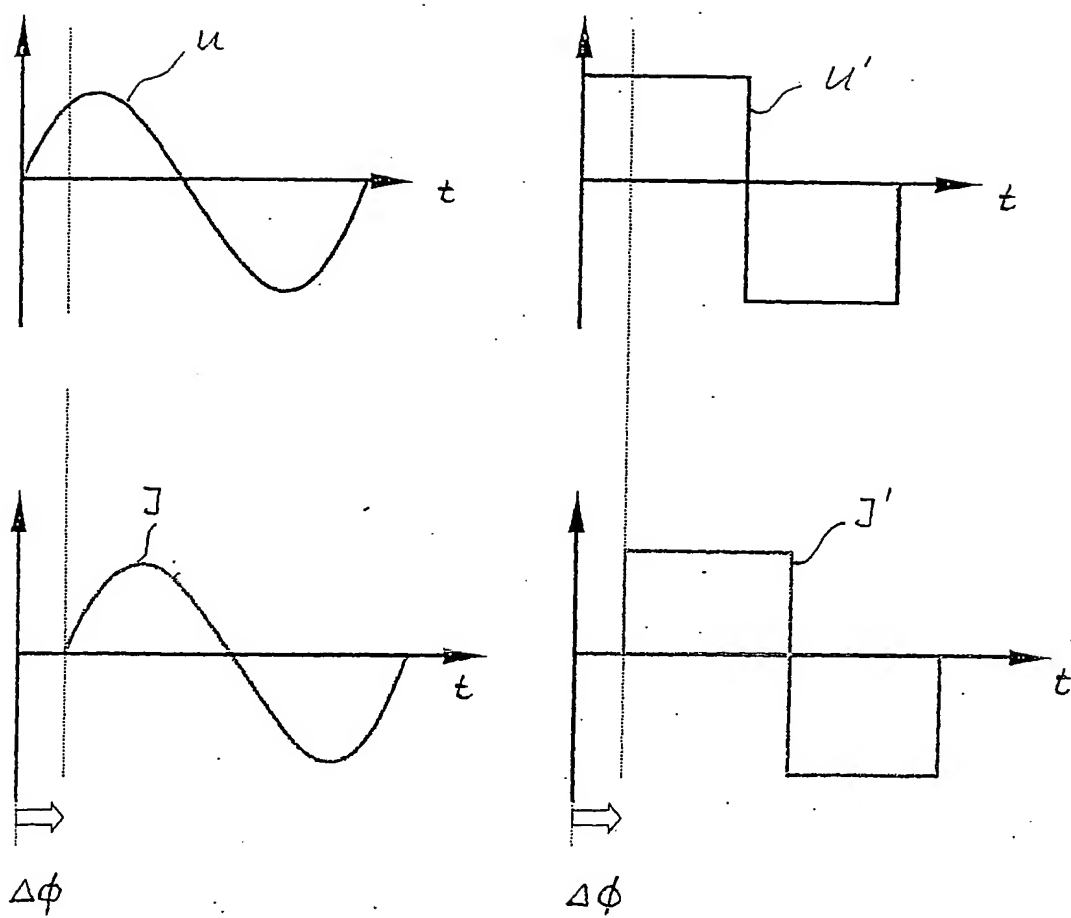


Fig. 1.

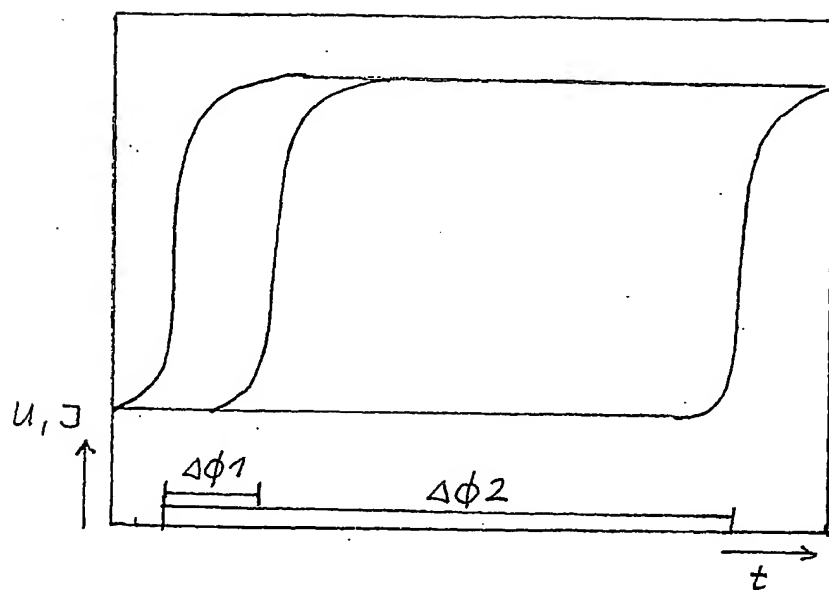


Fig. 2

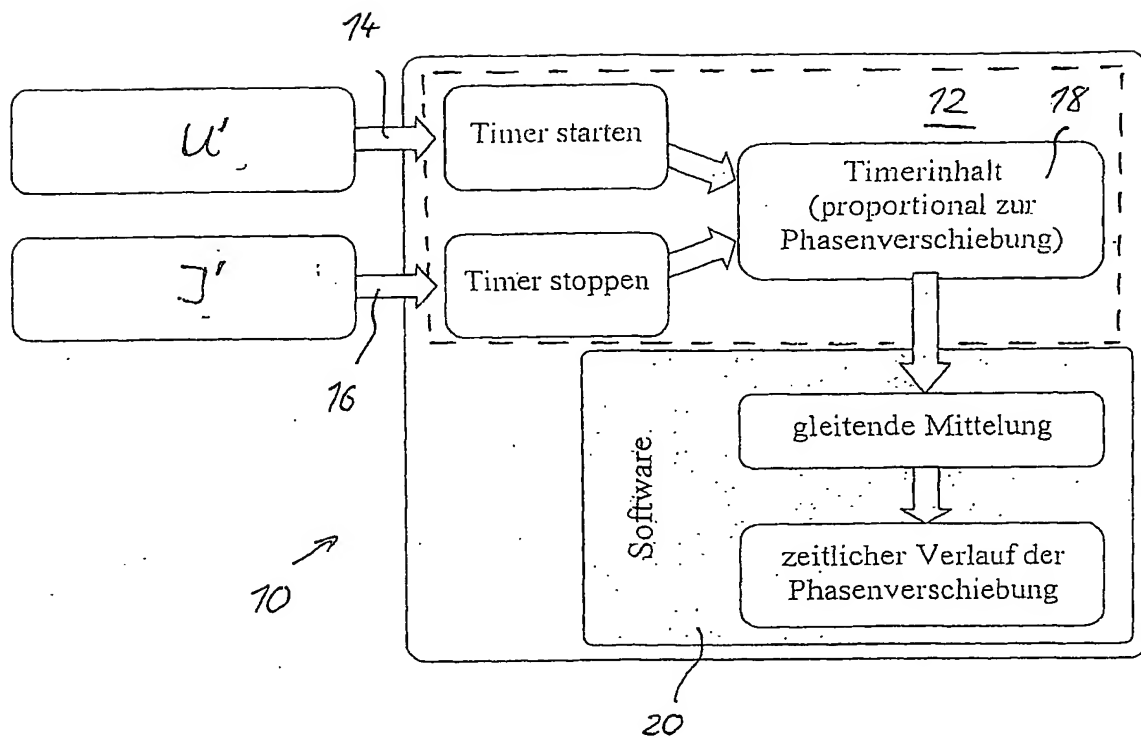


Fig. 3

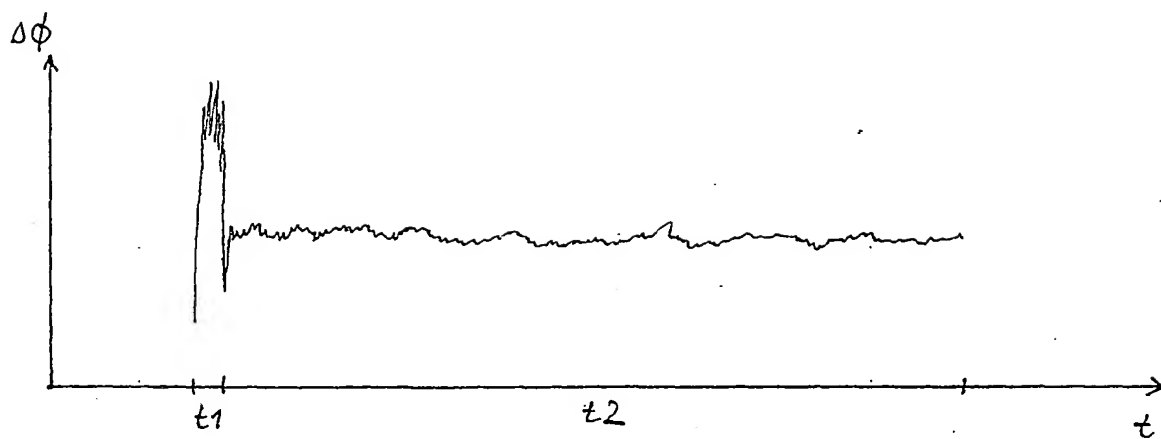


Fig. 4

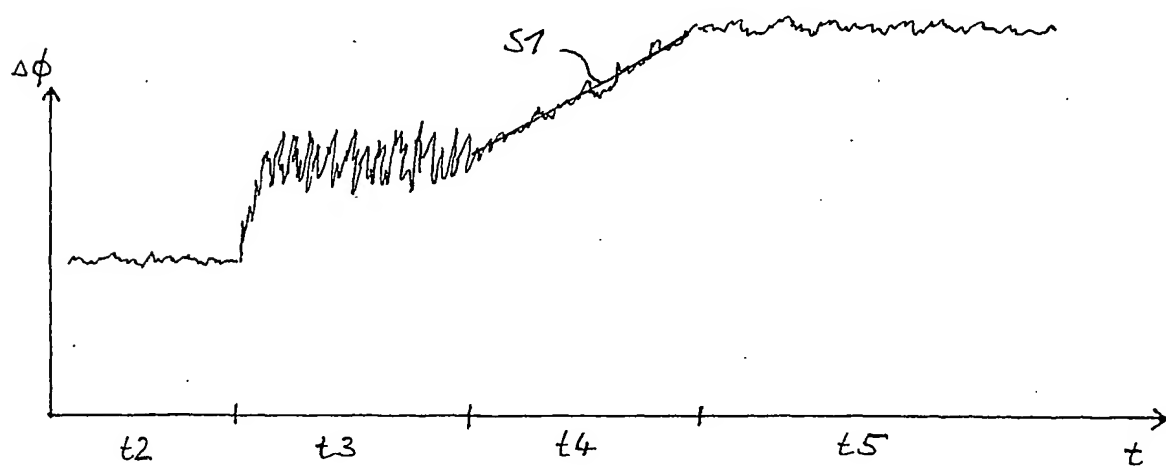


Fig. 5

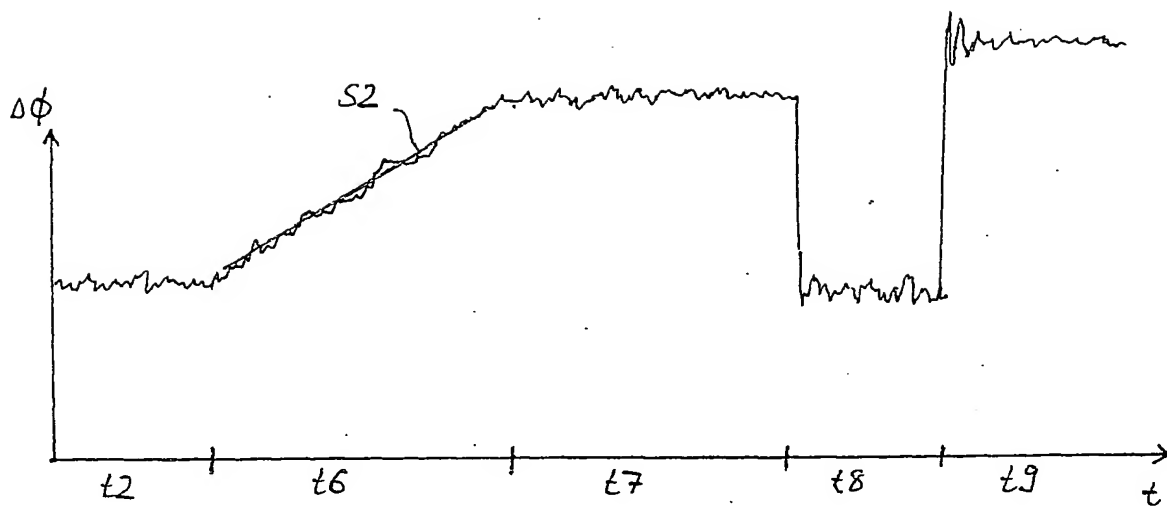


Fig. 6

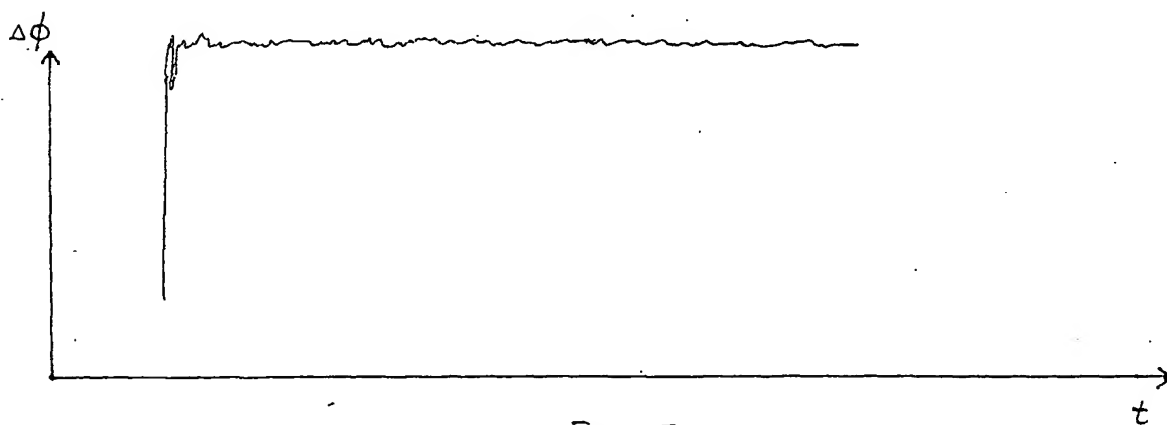


Fig. 7

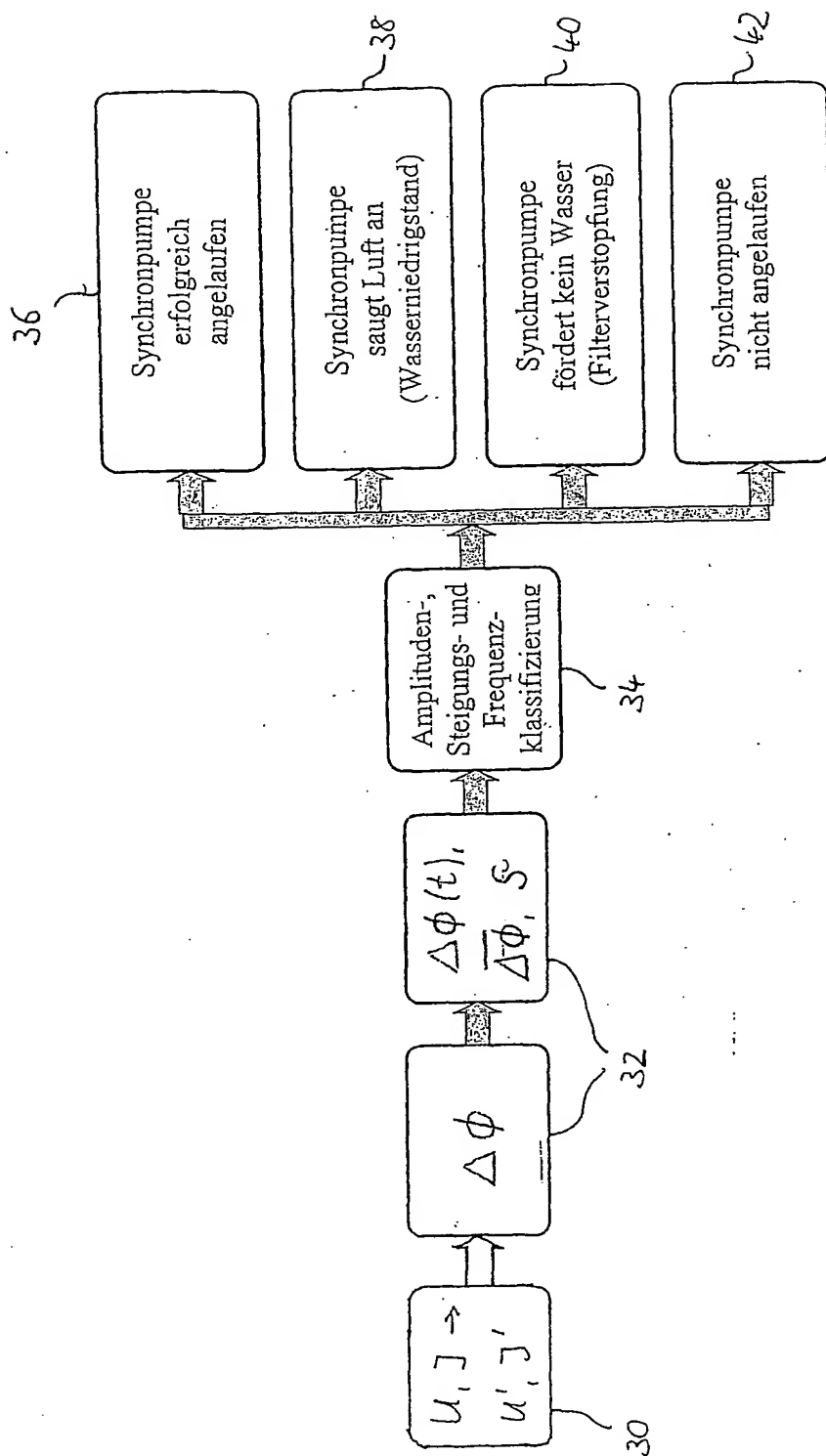


Fig. 8

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.